

Sistema construtivo modular a partir da flexibilização na geração de alternativas

Modular construction system based on flexibility in the generation of alternatives

Laila Nuić

nuic.arquiteturaearte@gmail.com

Lisiane Ilha Librelotto

lisiane.librelotto@arq.ufsc.br

Resumo

A necessidade de mudanças, cada vez mais frequentes no dia a dia das pessoas, acaba por transformar, também, os ambientes em que vivem. Este estudo trata da elaboração de um sistema construtivo modular, que atenda às necessidades de uma arquitetura mais flexível e dinâmica, em que as alterações feitas, no decorrer de sua vida útil, possam acontecer de forma a não perder o conceito construtivo original. Esta pesquisa teve como um dos principais objetivos, demonstrar as possibilidades de arranjos espaciais, através da modularidade e da padronização de seus componentes, de forma criativa e sem perdas para o meio ambiente. O desenvolvimento do sistema construtivo teve, como ponto de partida, os padrões de crescimento encontrados na natureza, as possibilidades projetuais através das malhas geométricas e os processos de composição dos espaços na arquitetura. Como resultado, obteve-se um sistema construtivo modular onde são articulados ambientes diferentes, em sua forma, e adaptável a novos contextos.

Palavras-chave: Arquitetura modular; flexibilidade espacial; desenvolvimento sustentável.

Abstract

The need for changes, more and more frequent in people's daily lives, ends up transforming the environments in which they live. This study deals with the development of a modular construction system, which meets the needs of a more flexible and dynamic architecture, in which the changes made, during its useful life, can happen in a way that does not lose the original constructive concept. This research had as one of the main objectives, to demonstrate the possibilities of spatial arrangements, through the modularity and the standardization of its components, in a creative way and without losses for the environment. The development of the construction system had, as a starting point, the growth patterns found in nature, the design possibilities through geometric meshes and the processes of composition of spaces in architecture. As a result, a modular construction system was obtain, in which different environments are articulated, in their shape, and adaptable to new contexts.

Keywords: Modular Architecture; spatial flexibility; sustainable development.

1. Introdução

O estudo apresentado, neste artigo, procura demonstrar a contribuição dos sistemas generativos ao processo de projeto na arquitetura e no desenvolvimento de soluções tecnológicas. Neste contexto, alguns aspectos devem ser considerados. A arquitetura, quando organizada em módulos, pode gerar vários questionamentos, principalmente com relação à sua estética e funcionalidade. Neste estudo são tratados alguns aspectos que envolvem padrões e repetições. Inicialmente, a forma como são encontrados na natureza e, posteriormente, como podem ser aplicados na arquitetura.

O objetivo desta pesquisa foi demonstrar as possibilidades de organização do espaço, de forma criativa e com a padronização dos seus componentes, a fim de se obter uma melhor qualidade nas várias etapas de montagem dos elementos construtivos. Partindo-se da ideia de uma arquitetura evolutiva, com possibilidade de agregação de espaços dentro de um mesmo conceito construtivo, e também de agregar espaços em ambientes já construídos, optou-se por um sistema construtivo modular, onde vários tipos de módulos possam ser agrupados e remanejados de acordo com as necessidades dos usuários. Para a elaboração do sistema construtivo modular foram considerados como requisitos: a possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos; a viabilidade de montagem e desmontagem dos módulos para utilização em locais variados; a flexibilidade do sistema modular, podendo ser objeto de acréscimos considerando o mesmo sistema de módulos, ou uma opção de acréscimo em edificações já existentes.

2. Fundamentação

Padrões e repetições sempre foram utilizados na arquitetura determinando o valor estético de cada época, não se constituindo, no entanto, em fatores limitadores. Através da observação da natureza, também pode-se verificar padrões de crescimento manifestando-se de diferentes formas. Doczi (1990), em seu livro *O Poder dos Limites*, trata do estudo das proporções existentes na natureza e da harmonia resultante delas. Partindo do exemplo de uma margarida, ele descreve a forma do seu centro demonstrando o seu padrão de crescimento (Figura 1).

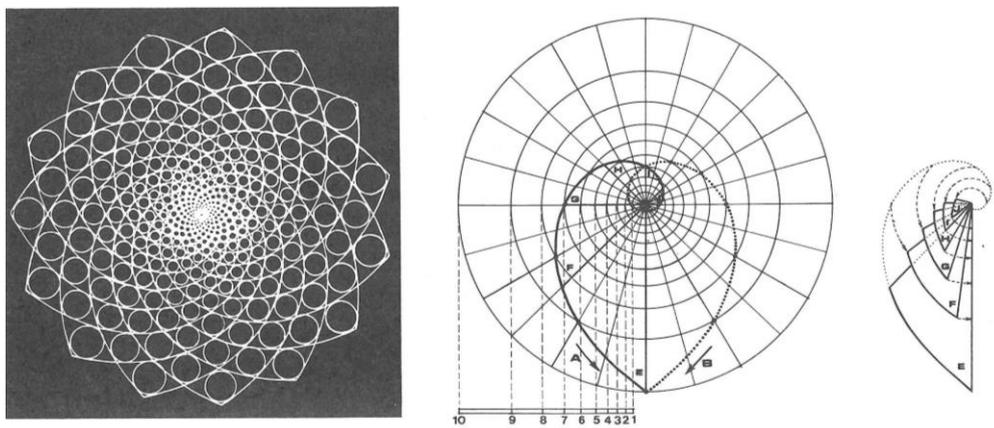


Figura 1: Diagramas de uma margarida - Espirais geradoras que se movem em direções opostas.
Fonte: Doczi, 1990.

Este padrão foi reconstituído esquematicamente através de círculos concêntricos, que crescem numa escala logarítmica, e de retas partindo do centro. Ligando-se os pontos de interseção das retas com os círculos, em grupos de linhas opostas, aparecem os espirais de crescimento da margarida (DOCZI, 1990).

A relação expressa na Figura 1 é a mesma da seção áurea, que reflete a relação recíproca entre as duas partes desiguais de um todo, na qual a parte menor está para a parte maior, assim como a parte maior está para o todo. Estes padrões gerados por espirais que se movem em direções opostas são verificados em várias formações da natureza (Figura 2). Doczi (1990) salienta a importância do poder gerador, através da união dos opostos na criação de padrões, e propõe um novo termo – dinergia, que representa, no caso da margarida e de outras plantas, a energia criadora do crescimento orgânico.

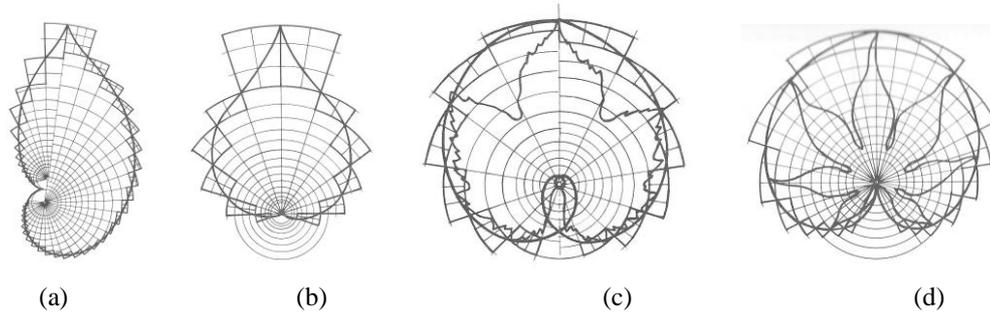


Figura 2: Reconstrução de contorno de folhas: (a) Begônia; (b) Lilás; (c) Folha de uva concórdia; (d) Bordo japonês. Fonte: Doczi, 1990.

As formas geradoras, na arquitetura, partem de geometrias básicas como o quadrado, o triângulo e o círculo que, por sua vez, formam cubos, pirâmides e esferas, que podem estar ou não contidos em formas irregulares. Ching (2013), no livro *Arquitetura – forma, espaço e ordem*, descreve as formas geradoras dos volumes e dos espaços na arquitetura, através de formas geométricas, resultantes de composições articuladas entre objetos. Estas composições foram denominadas como formas subtrativa e aditiva (Figura 3).

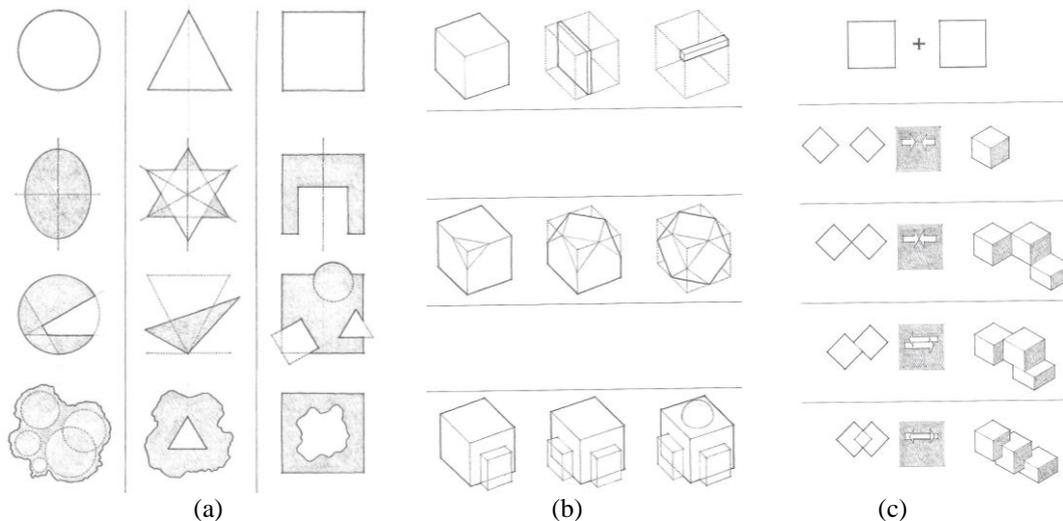
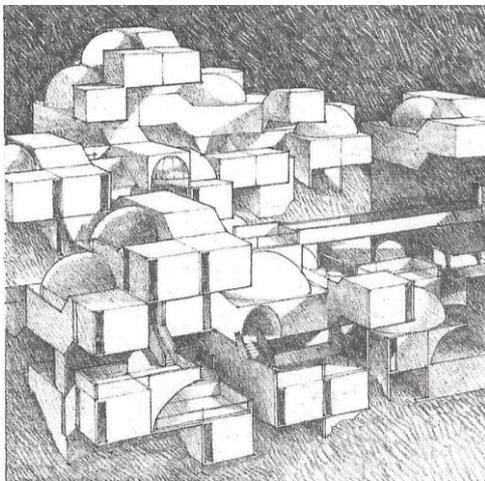
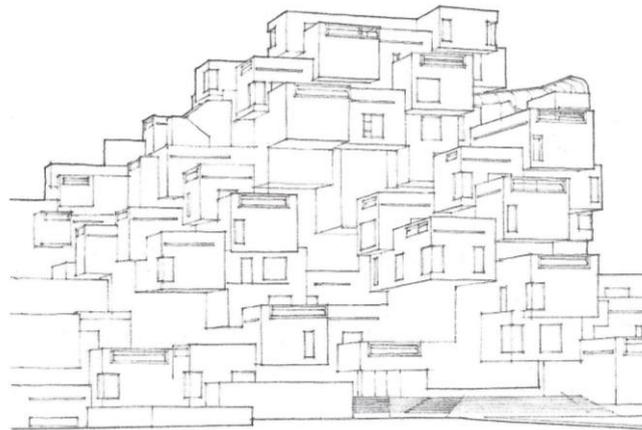


Figura 3: (a) formas geradoras; (b) formas transformadas por adição e subtração; (c) forma aditiva. Fonte: Ching, 2013.

Na forma subtrativa são removidas parte dos sólidos ou das formas geométricas. Dependendo da quantidade de massa removida dos sólidos, ou das dimensões subtraídas das formas, o objeto pode ser transformado em outro diferente do original ou, simplesmente, ter sua forma mantida visualmente. Neste último caso, esta percepção acontece pelo fato da nossa visão tender a completar formas conhecidas, mesmo com a ausência de parte delas. A forma aditiva é o resultado da junção de duas ou mais formas, que pode acontecer por meio de quatro possibilidades básicas: por tensão espacial, que se manifesta pela proximidade das formas, ou por possuírem as mesmas características visuais como formato, cor ou material; por contato de arestas, quando as formas têm uma aresta comum e podem girar em torno dela; por contato de faces, onde duas formas tenham superfícies planas correspondentes e paralelas entre si; e por volumes interseccionados, quando as formas se sobrepõem parcialmente, no espaço independente de suas características visuais. Os novos agrupamentos podem ser classificados de acordo com a natureza das relações que existem entre os elementos compositivos, que correspondem a: forma centralizada, onde várias formas são agrupadas em torno de uma elemento principal, dominante e centralizado; forma linear, onde os elementos são distribuídos sequencialmente em uma fileira; forma radial, onde a composição é formada a partir de um ponto central; forma agrupada ou aglomerada, representada por um conjunto de formas agrupadas por proximidade, ou por possuírem uma característica visual comum; forma em malha, com módulos agrupados, através de regras definidas por meio de uma malha tridimensional. Na arquitetura, a forma aglomerada pode ser representada pelos conjuntos habitacionais projetados pelo arquiteto Moshie Safdie na cidade de Jerusalém em Israel e em Montreal no Canadá, apresentados na Figura 4 (CHING, 2013).



(a)



(b)

Figura 4: (a) Conjunto habitacional pré-fabricado em Jerusalém, 1966; (b) Conjunto habitacional pré-fabricado em Montreal, 1967 – Arquiteto Moshie Safdie. Fonte: Ching, 2013.

O estudo das malhas geométricas, a partir das quais são gerados os polígonos agrupados, segundo uma regra de formação, foi bem detalhado por Sá (1982) em seu livro Edros. Nele, são estudadas as malhas repetitivas que seguem regras de formação possuindo, assim, comportamento previsível e analisável. Estas malhas foram classificadas como regulares e semirregulares. As malhas, desde as mais simples até as mais complexas, podem ser desenhadas através do cruzamento de dois feixes de paralelas, ortogonais entre si. As linhas de cada feixe ficam, então, distanciadas segundo uma série de intervalos repetitivos. As malhas também podem ser modificadas deformando-se as dimensões em

uma das direções, ou em ambas. Outra maneira seria modificando o ângulo formado entre as direções (SÁ, 1982).

As malhas classificadas como regulares são formadas por apenas um tipo de polígono regular. Já as semirregulares são formadas por mais polígonos, podendo variar entre três e seis. De acordo com Sá (1982), “a análise da quantidade de possíveis malhas, formadas com polígonos regulares, baseia-se no teorema que afirma que, em um polígono regular de n lados, o ângulo interno do vértice é igual a $180^\circ (n - 2) / n$, em graus”. No desenvolvimento deste teorema, chega-se à conclusão que as malhas regulares são formadas apenas pelos polígonos triângulo equilátero, quadrado e hexágono. Mais alguns desdobramentos do teorema e encontram-se 15 tipos de vértices capazes de fornecerem malhas planas.

Outras malhas, ditas “duais”, são aquelas que têm por nós, os centros dos polígonos definidos pelas malhas semirregulares simples, duplas ou triplas, com características definidas formadas por vértices de mais de um tipo (Figura 5), onde o número de tipos de nós é igual ao número de polígonos da malha de origem (SÁ, 1982). As malhas regulares são duais de si mesmas. A malha triangular é dual da hexagonal e vice-versa, e a malha quadrada é dual dela própria (Figura 6).

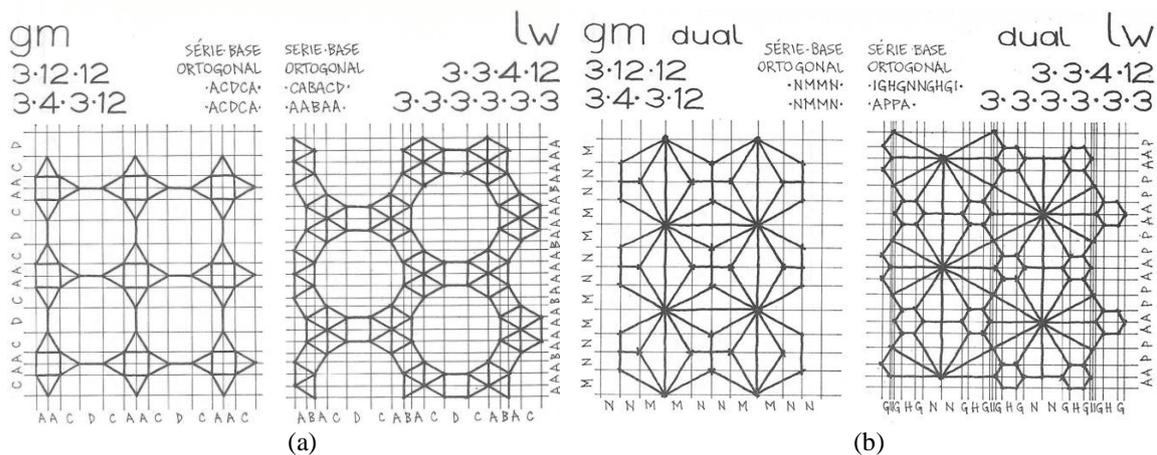


Figura 5: (a) malhas geométricas semirregulares duplas; (b) Malhas semirregulares duais. Fonte: Sá, 1982.

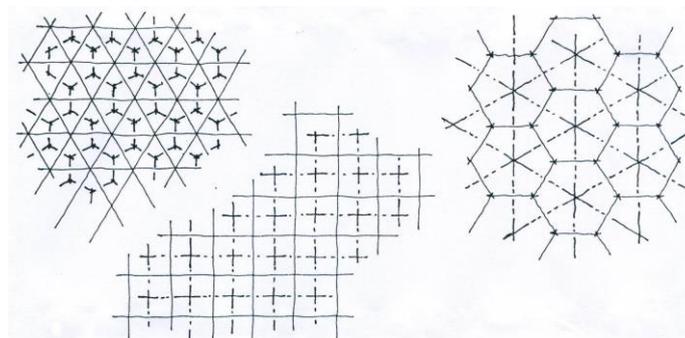


Figura 6: Malhas regulares duais. Fonte: Sá, 1982.

As malhas de prismas são malhas tridimensionais, formadas pela ligação dos vértices de duas malhas planas. Cada polígono da malha inferior torna-se a base de um prisma, e as

linhas entre os planos, as arestas laterais. Dois exemplos de malhas de prismas podem ser citados: as malhas semirregulares ortogonais (Figura 7a), que são geradoras de agrupamentos de prismas retos com mais de um tipo de base; e a malha ortotrigonal (Figura 7b) que gera prismas retos de base triangular. Estas malhas são geradoras da maioria dos nossos edifícios podendo formar complexas combinações de ambientes nos espaços construídos.

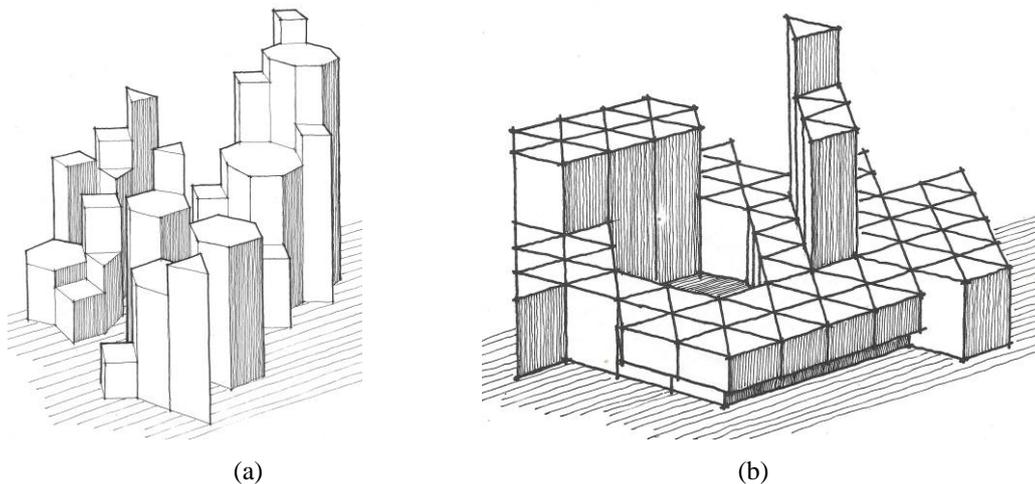


Figura 7: Malhas de prismas: (a) Malhas semirregulares ortogonais; (b) Malha ortotrigonal. Fonte: Sá, 1982.

Através do estudo das malhas podemos observar que um elemento (representado nas malhas por uma reta), ou um módulo, pode ser repetido de diversas formas originando inúmeras combinações de forma original e criativa. Pode-se dizer que a repetição torna-se um fator agregador à criatividade. A repetição se apresenta como forma de adicionar elementos, formando um sistema construtivo inovador e único, sem perder ou inibir, com isso, a criatividade do projetista. Muito pelo contrário, a possibilidade de geração de alternativas, torna-se um multiplicador de opções projetuais e construtivas, que o arquiteto irá dispor no momento da tomada de decisões. Tais fundamentos de geometria estão presentes em diversas culturas, pela geometria islâmica, grega, com fractais, arquitetura quântica, geometria sagrada e podem ser vislumbradas sob a ótica de vários autores (HARDING, 2001; OSTWALD, 2001; MANDELROT, 1982; SÁ, 2018).

3. Método

Com base no processo de formação de padrões encontrados na natureza, foi elaborado um sistema construtivo modular inspirado, inicialmente, na forma de uma concha. Como exemplo, pode ser citado o molusco *Haliotis asinina* representado na Figura 8a, segundo seu esquema de crescimento. E na Figura 8b, a espiral logarítmica do crescimento típico de uma concha observando a proporção áurea.

Com a intenção de trabalhar com materiais naturais renováveis, esta proposta foi destinada a uma construção com elementos estruturais de colmos de bambu. Nesta proposta de estudo foram pesquisadas peças retas e curvas a partir de um quadrado de

dimensões estabelecidas em função do pé-direito necessário para uma edificação e também das características físicas e mecânicas do material utilizado, no caso, o bambu.

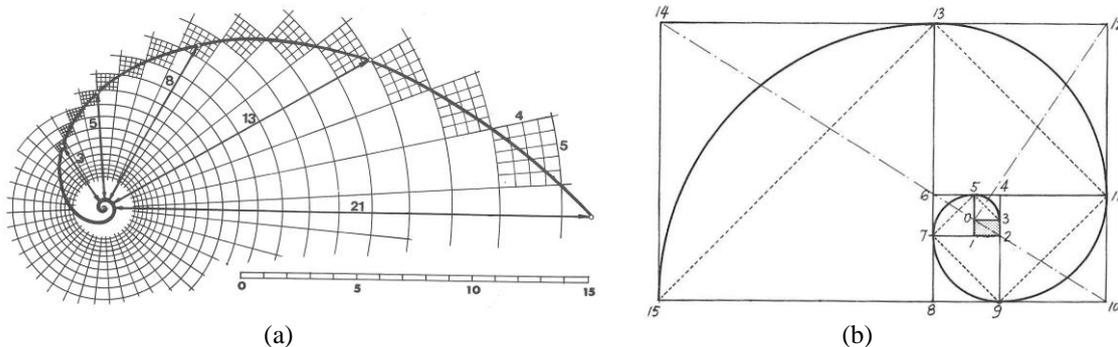


Figura 8: (a) reconstrução dinérgica do contorno da concha – Haliote (*Haliotis asinina*); (b) espiral logarítmica, típica da expansão da concha, representada através da proporção áurea. Fonte: Doczi, 1990.

Estabelecidos os parâmetros construtivos, foram estudados os módulos para a composição arquitetônica. Estes módulos foram projetados para serem assentados em terrenos tanto planos quanto inclinados, possibilitando um maior e melhor aproveitamento das áreas. O sistema construtivo modular proposto teve seu foco em edificações de no máximo dois pavimentos, sendo sua destinação para qualquer tipo de uso. No Quadro 1 estão relacionadas as etapas do processo de desenvolvimento do sistema construtivo.

Etapas	Descrição
Etapa 1 – Módulos	Elaboração dos módulos estruturais a partir dos conceitos de modularidade arquitetônica e padrões existentes na natureza.
Etapa 2 – Composições dos módulos	Elaboração de modelos de agrupamentos a partir dos módulos propostos; Verificação dos tipos de ligações geradas.
Etapa 3 – Projeto do sistema construtivo	Elaboração do projeto do sistema construtivo, considerando os sistemas estrutural, de cobertura, de fechamento e de piso; Verificação das possibilidades construtivas para instalações hidráulicas e elétricas.
Etapa 4 – Protótipo 1 Módulos estruturais	Projeto e construção do sistema estrutural, utilizando-se determinados modelos de agrupamentos; Testes com montagem e desmontagem das peças estruturais; Testes com acréscimos de módulos a outros já edificados.
Etapa 5 – Protótipo 2 Sistema construtivo	Projeto e construção do sistema construtivo, utilizando-se determinados modelos de agrupamentos; Testes com montagem e desmontagem do sistema construtivo; Testes com acréscimos de módulos a outros já edificados.
Etapa 6 – Validação da proposta do sistema construtivo modular	Avaliação da proposta do sistema construtivo modular, através dos testes com os protótipos; Reestruturação da proposta; Novos testes; Definição do sistema construtivo modular.

Quadro 1: Etapas de desenvolvimento do sistema construtivo modular. Fonte: Elaborado pelas autoras.

4. Resultados e discussões

Neste artigo são apresentados os resultados alcançados nas etapas 1 e 2, considerando que estas etapas foram fundamentais para a continuidade do desenvolvimento da proposta do sistema construtivo modular. Estas etapas são marcadas por três momentos importantes: a definição dos módulos estruturais; a organização dos módulos em modelos de agrupamentos; e a verificação das ligações geradas pelas composições dos módulos.

Foram projetados três módulos a partir das peças reta e curva propostas. O primeiro, o cubo, onde só existem peças retas, no total de 12 peças. O segundo, em que, partindo do cubo, são substituídas cinco peças retas por duas peças curvas, no total de 9 peças. No terceiro módulo são mantidos três eixos perpendiculares entre si, com três peças retas, que são unidas com outras três peças curvas, no total de 6 peças (Figura 9).

As dimensões das peças retas e curvas partem das dimensões estabelecidas para o quadrado de referência. Assim, a peça reta corresponde ao lado do quadrado e a peça curva a $\frac{1}{4}$ de círculo inscrito no quadrado, considerando a utilização de todas as peças estruturais com mesmo tamanho tanto para as peças retas quanto para as peças curvas.

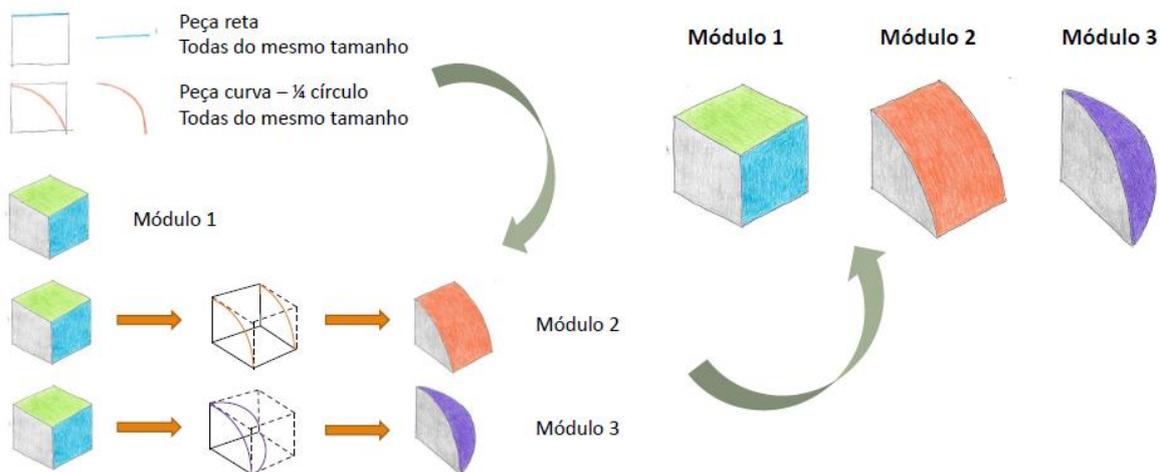


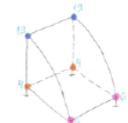
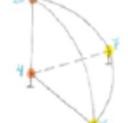
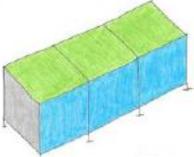
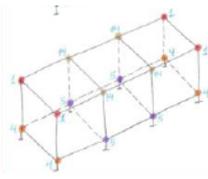
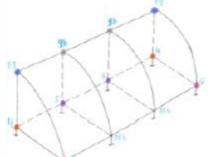
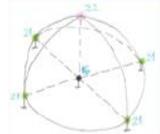
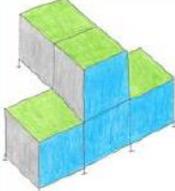
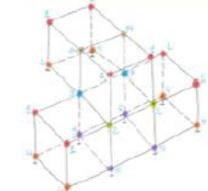
Figura 9: Construção dos módulos. Fonte: Elaborado pelas autoras.

A partir dos módulos propostos foram elaboradas composições com módulos iguais e diferentes. Foram geradas 12 composições, para estudo, sendo que dentre elas 3 são formadas pelos módulos base, 5 são formadas por módulos iguais e 4 são formadas por módulos diferentes. Os Modelos 1 a 8 são constituídos por apenas um tipo de módulo (Quadro 2). Os Modelos 9 a 12 são constituídos por 2 ou 3 tipos de módulo (Quadro 3). Estes modelos foram elaborados com o objetivo de se verificar os vários tipos de ligação que podem ser gerados com a união dos módulos.

Os Modelos 1, 2 e 3 são compostos pelos módulos base, para verificação das ligações geradas a partir das peças estruturais envolvidas. Ligações entre peças retas, entre peças retas e curvas e entre peças curvas.

Os Modelos 4 e 5 são compostos pela união de 3 módulos. No Modelo 4 foi utilizado apenas o Módulo 1 para a verificação estrutural do encontro destes módulos. Com estes três módulos já é possível identificar as ligações formadas nas faces externas e internas. Se forem agrupados mais módulos, seguindo o sentido longitudinal, os tipos de ligações irão apenas se repetir, não serão gerados novos tipos de ligação. Inicialmente serão agrupados

os módulos em apenas um pavimento, sendo o esforço estrutural solicitado apenas para sustentação da cobertura. No Modelo 5 são utilizados apenas o Módulo 2.

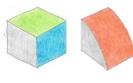
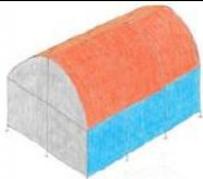
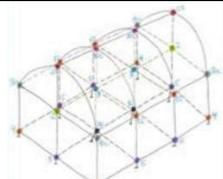
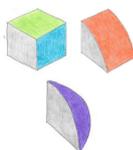
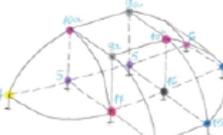
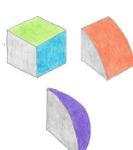
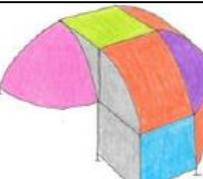
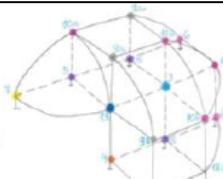
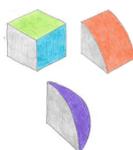
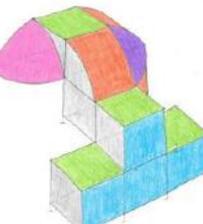
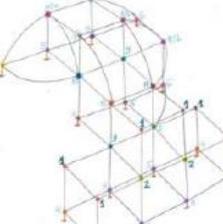
Modelo/ no.pav.	Módulos utilizados	Composições/ no.de módulos	Esquema estrutural	Número total de peças estruturais	Número de ligações
1 1 pav.		 1		12 Retas – 12	8 (2 tipos de ligações)
2 1 pav.		 1		8 Retas – 6 Curvas - 2	6 (3 tipos de ligações)
3 1 pav.		 1		6 Retas – 3 Curvas – 3	4 (3 tipos de ligações)
4 1 pav.		 3		28 Retas – 28	16 (4 tipos de ligações)
5 1 pav.		 3		18 Retas – 14 Curvas – 4	12 (6 tipos de ligações)
6 1 pav.		 6		29 Retas – 21 Curvas – 8	16 (6 tipos de ligações)
7 1 pav.		 4		13 Retas – 5 Curvas – 8	6 (3 tipos de ligações)
8 2 pav.		 5		44 Retas - 44	24 (6 tipos de ligações)

Quadro 2: Síntese dos modelos de agrupamentos dos módulos. Modelos 1 a 8, constituídos por um tipo de módulo. Fonte: Elaborado pelas autoras.

Com o Modelo 6 pretende-se verificar o espaço gerado com o agrupamento dos módulos, no caso o Módulo 2, no sentido longitudinal e transversal, e os novos tipos de ligações geradas.

O Modelo 7 é o resultado do agrupamento dos módulos, com utilização do Módulo 3, que se traduz em um espaço circular, com uma ligação superior unindo todas as peças estruturais curvas.

Com o Modelo 8 é proposto um agrupamento organizado a partir do Módulo 1, sendo este, agrupado tanto no sentido longitudinal, quanto no sentido transversal, porém, desenvolvido em dois pavimentos. A proposta inicial deste sistema construtivo é que ele possa ser desenvolvido em até dois pavimentos, e que também possa ser agrupado de várias formas. Sendo assim, este modelo propõe a união de 5 Módulos 1, nos sentidos longitudinal e transversal, e sobrepostos em dois pavimentos, para verificação das peças estruturais e das ligações geradas. Este modelo pode ser construído em terrenos planos, onde há uma projeção do 2º. pavimento no sentido transversal, podendo gerar um espaço coberto e aberto, sendo o espaço aberto sustentado por dois pilares. E também, pode ser construído em um terreno inclinado de forma que o módulo do 2º. Pavimento, que não está sobreposto no módulo do 1º. Pavimento, possa ser apoiado em uma fundação.

Modelo/ no.pav.	Módulos utilizados	Composições/ no.de módulos	Esquema estrutural	Número total de peças estruturais	Número de ligações
9 2 pav.		 12		54 Retas – 46 Curvas – 8	28 (9 tipos de ligações)
10 2 pav.		 5		24 Retas – 17 Curvas – 7	13 (8 tipos de ligações)
11 2 pav.		 7		34 Retas – 26 Curvas – 8	18 (9 tipos de ligações)
12 3 pav. (*)		 11		67 Retas – 59 Curvas - 8	34 (13 tipos de ligações)

(*) 3 pavimentos no total e no máximo 2 pavimentos em cada desnível.

Quadro 3: Síntese dos modelos de agrupamentos dos módulos. Modelos 9 a 12, constituídos por mais de um tipo de módulo. Fonte: Elaborado pelas autoras.

No Modelo 9 foram agrupados os módulos de forma a se utilizar mais de um tipo de módulo. Neste caso, foram utilizados os Módulos 1 e 2, com a sobreposição dos Módulos 2 sobre os Módulos 1, totalizando 12 módulos. Apesar da forma final do modelo sugerir um galpão ou uma edificação com pé-direito alto, também pode ser utilizado como uma edificação de dois pavimentos, dependendo do seu uso e do tipo de cobertura escolhido.

O Modelo 10 é uma estrutura desenvolvida em 1 pavimento e com a utilização de três módulos diferentes, Módulo 1, Módulo 2 e Módulo 3. Os módulos foram agrupados de modo a se verificar a maneira como eles se complementam e, também, como se encaixará uma peça estrutural curva quando unida à face reta do cubo. Neste agrupamento novas ligações são geradas e novos espaços também. Foram utilizados, neste modelo, um Módulo 1, dois Módulos 2 e dois Módulos 3. No encontro do Módulo 3 (em rosa) com o Módulo 1, não só as ligações terão modificações estruturais, como também, o fechamento da face de encontro dos dois módulos deverá ter um projeto específico. O agrupamento dos módulos, neste modelo, demonstra que os três tipos de módulo podem ser organizados de inúmeras maneiras, e que vão estar compatíveis com a proposta do sistema construtivo, com as soluções de projeto apresentadas.

O Modelo 11 se desenvolve em dois pavimentos, da mesma forma que o Modelo 8. Uma parte do agrupamento possui 1 pavimento e outra parte 2 pavimentos. Foi utilizado o Modelo 10 como base em composição com mais dois módulos, o Módulo 1 e o Módulo 2, que são os módulos que se agregam, naturalmente, na composição com os módulos superiores. Este modelo também pode ser construído em terrenos planos e inclinados, sendo que a parte agrupada em 1 pavimento, pode ser apoiada em uma fundação ou com pilares, formando um espaço inferior coberto e aberto. A parte agrupada com dois pavimentos é composta por um Módulo 1, dois Módulos 2 e um Módulo 3. A parte agrupada com um pavimento é composta por um Módulo 1, um Módulo 2 e um Módulo 3.

O Modelo 12 é a junção dos Modelos 8 e 11 em uma proposta para ser desenvolvida em um terreno inclinado que, neste caso, possui três pavimentos. Porém, cada desnível possui, apenas, dois pavimentos, sendo que o primeiro nível, o superior, possui apenas um pavimento.

Todas as ligações, geradas a partir dos módulos e dos seus agrupamentos, foram detalhadas em função do número de peças conectadas a cada tipo de ligação, bem como o tipo de peça, reta ou curva, e um desenho esquemático de como estas peças se agrupam em cada ligação, a exemplo das Ligações 1, 2 e 7, representadas no Quadro 4.

Foram identificadas 23 tipos diferentes de ligações, como resultado das composições modulares representadas nos Modelos 1 a 12. Outras ligações podem ser geradas de acordo com os agrupamentos formados e o tipo de terreno onde serão inseridos. Porém, a grande maioria das ligações já se encontram dentro destes 23 tipos identificados. A medida que o módulos foram sendo agrupados, em composições variadas, os tipos de ligações vão se repetindo.

O importante, neste estudo das ligações, são os encontros das peças estruturais retas e curvas, que aconteceram de três maneiras: entre peças retas, entre peças retas e curvas e entre peças curvas. O objetivo foi, dentre as variações encontradas, traduzir estas ligações em um projeto único de ligação, que pudesse conectar peças retas e curvas nas diversas situações.

Ligação/Numeração	Ligação 1	Ligação 2	Ligação 7
Nº de peças conectadas	3	5	3
Tipos de peças conectadas	Peças retas	Peças retas	1 peça reta e 2 curvas (conectadas à fundação)
Desenho esquemático			

Quadro 4: Exemplos de tipos de ligações geradas pelas composições modulares, com informações básicas de projeto. Fonte: Elaborado pelas autoras.

O objetivo de desenvolver um sistema construtivo modular, visando uma arquitetura mais sustentável, partiu, inicialmente, da racionalização dos elementos estruturais, sem que houvesse a perda das possibilidades de geração de alternativas, durante o processo criativo. Independente das soluções alcançadas com os sistemas de fechamentos, de piso e de cobertura, estas duas primeiras etapas do processo de desenvolvimento do sistema construtivo, foram cruciais para o atendimento aos requisitos mencionados, inicialmente, neste trabalho: a possibilidade de pré-fabricação dos elementos construtivos; a viabilidade de montagem e desmontagem dos módulos para utilização em locais variados; a flexibilidade do sistema modular para acréscimos em construções já existentes, sejam do mesmo sistema construtivo, ou em outras construções.

5. Considerações finais

Este estudo teve ênfase na pesquisa de um sistema construtivo modular, como contribuição a uma arquitetura com menor impacto ambiental. Considerando a pré-fabricação dos elementos construtivos, buscou-se a diminuição das perdas de materiais, uma maior qualidade na execução da montagem do sistema construtivo e a possibilidade de atender às expectativas de usuários que necessitam de mais flexibilidade em seus ambientes.

Abordando questões como o uso da geometria na arquitetura e as formas de crescimento encontradas na natureza, buscou-se, nos padrões geométricos, a inspiração para a proposição dos módulos estruturais. A partir de uma forma básica do casco do caracol, definiu-se dois elementos que foram utilizados na composição da estrutura modular.

Referências

- CHING, Francis D. K. **Arquitetura: forma, espaço e ordem**. Trad. Alexandre Salvaterra. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 435p.
- DOCZI, György. **O poder dos limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura**. Trad. Maria Helena de Oliveira Tricca e Júlia Bárány Bartolomei. São Paulo: Mercúrio, 1990.149p.

HARDING, Philip E. Geometry and Geometers of Later Islamic Architecture. **History of Art**. p. 1-25, 2001. Disponível em: <https://www.hardingfineart.com/images/islamic.pdf>. Acesso em: fev/2021.

MANDELBROT, Benoit B. **The fractal geometry of nature**. New York: WH Freeman. 1982. Disponível em: https://users.math.yale.edu/~bbm3/web_pdfs/encyclopediaBritannica.pdf. Acesso em: fev/2021.

OSTWALD, M.J. Fractal Architecture: Late Twentieth Century Connections Between Architecture and Fractal Geometry. **Nexus Network Journal**. Vol.3, n.1, p.73-84. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00004-000-0006-1>. Acesso em: fev/2021.

SÁ, Ricardo. **Edros**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1982. 127p.

_____; SÁ, Asla Medeiros e. **O livro Sobre Malhas Arquemedianas**. 2018. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/seminarios/2018/slides/asla.pdf>. Acesso em: fev/2021.